

И. З. ИВАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПОБОЧНЫХ ВУЛКАНОВ КЛЮЧЕВСКОЙ СОПКИ

(Предварительный отчет)

Настоящим исследованием были охвачены три побочных вулкана Ключевской сопки, образовавшиеся в 1932 г. и названные В. С. Кулаковым „Киргурич“, „Туйла“ и „Биокось“. Вулканы расположены в 16 км к югу от с. Ключи, на северо-восток от Ключевской сопки.

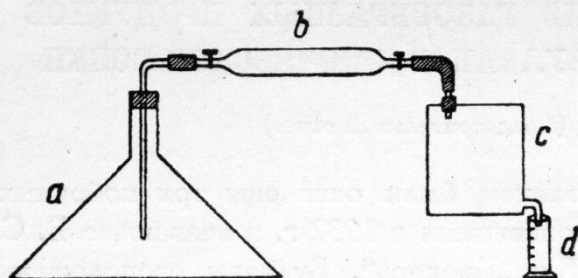
Нами была предпринята попытка подойти к определению состава газовых смесей отдельных фумарол с количественной стороны, а также, по возможности, охарактеризовать возгоны. При выборе методики анализа газов, мы вынуждены были, применительно к данным условиям, исходить из наиболее простых схем аппаратуры и приборов, конечно не в ущерб точности анализа. Наиболее подробно описаны разнообразные методы газового анализа в книге Л. Деннис и М. Никольс — „Газовый анализ“, в книге В. Соколова — „Методы исследования природных газов“ и, применительно к вулканическим газам, в статье Шеперда.

В основном, при разработке методики анализа, я руководствовался указанной статьей Шеперда. В результате выработанных условий анализ всей смеси газов производился двумя способами: кислая часть газов, HCl , CO_2 , H_2S и т. д., поглощалась раствором едкого калия, и в растворе определялись титрованием соответствующими реактивами поглощенные газы; остаток определялся по методу Гемпеля и сожжением; вода определялась весовым способом, поглощением серной кислотой и CaCl_2 . Не вдаваясь в подробности постепенного изменения в способах взятия проб газов и методов анализа, останавлиюсь более детально на описании условий, в которых производились приведенные ниже анализы газов.

Отбор газовых проб производился следующим образом: большая железная воронка (диаметр воронки 50 см и высота 45 см) ставилась в предварительно вырытое углубление в фумароле и засыпалось почти доверху (до цилиндрической трубки воронки) рыхлой породой. Воронка

посредством стеклянной и каучуковой трубок соединялась с приемником для газа, а последний, в свою очередь, был соединен с аспиратором, роль которого выполнял жестяной бидон с двумя отверстиями. По количеству вытекшей из аспиратора воды можно было судить об объеме прошедшего через приемник газа (фиг. 1). Перед отбором пробы измерялась температура фумаролы, температура газа у выхода из воронки, барометрическое давление и температура окружающего воздуха.

Применив большую воронку, зарываемую и обсыпаемую окружающей рыхлой породой, мы стремились достигнуть наименьшего попадания наружного воздуха в отбираемую пробу. Газ, собранный в газовую трубку, обычно анализировался на содержание нейтральных составных частей



Фиг. 1.

a — воронка; *b* — газовая трубка, емкостью 250—300 см³ с 2 припаянными кранами; *c* — аспиратор; *d* — мерный цилиндр.



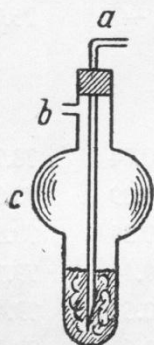
Фиг. 2.

по методу Гемпеля. В некоторых случаях газ непосредственно засасывался через воронку в эвакуированный литровый баллон, который после этого запаивался. Стеклянный баллон, с оттянутой в капилляр трубкой, эвакуировался до 0.2—0.1 мм масляным насосом и запаивался. При отборе пробы, капиллярная трубка баллона надрезалась и затем соединялась с воронкой посредством толстостенной каучуковой трубки. При обламывании капилляра, газ заполнял баллон, после чего он снова запаивался (фиг. 2). Указанным способом брались пробы для определения общей смеси газов и паров воды. Для улавливания кислых газов, вместо газовой трубки *b*, (фиг. 1), к воронке присоединялась поглотительная трубка с раствором КОН (фиг. 3), через которую медленно просасывался газ в количестве 15—20 л.

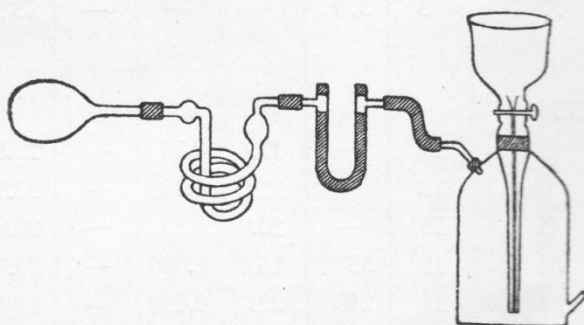
В трубку *c*, имеющую выходное отверстие *b*, вставлен, посредством каучуковой пробки, капилляр *a*, который при отборе пробы соединяется с воронкой. Аспиратор присоединяется каучуковой трубкой *b*. Для более полного поглощения, трубка *c* частично заполнена кусочками стекла. После пропускания через раствор КОН большого объема газа, трубки *a* и *b* закрывались каучуковыми трубками со вставленными в них стеклянными палочками, и пробы пересылались в лабораторию. Способ поглощения кислых газов едким калием был проверен на искусственных смесях и дал положительный результат. Предварительно перед отбором проб газ каче-

ственно исследовался на содержание тех или иных компонентов в смеси, для чего большой объем газа, 10—15 л, пропускался через трубку, указанную на фиг. 3, содержащую соответствующий поглотитель. Обычно таким образом производились испытания на содержание в газообразных выделениях фумарол хлористого водорода, сероводорода, углекислоты и др.

Определение паров воды в газе производилось путем поглощения крепкой серной кислотой. Для указанной цели проба газа, взятая в эвакуированный баллон, просасывалась через взвешенную трубочку (змейку) с серной кислотой, и затем змейка снова взвешивалась. Ход определения состоял в следующем: баллон с пробой газа соединялся при помощи



Фиг. 3.



Фиг. 4.

толстостенной каучуковой трубки с змейкой, содержавшей H_2SO_4 . Далее к змейке присоединялась U-образная трубка с $CaCl_2$, а последняя была соединена с газометром (фиг. 4). Нагреванием баллона пары воды перегонялись в трубку с серной кислотой, где и поглощались; газовая смесь собиралась в газометре.

Для определения нейтральных газов, газовая смесь переводилась из газовой трубки (фиг. 1, b) в бюретку Гемпеля, наполненную ртутью. Переведенный в бюретку над ртутью газ пропускался сначала в пипетку Гемпеля с раствором КОН для удаления кислой части газа, а затем последовательно в пипетки с бромной водой для поглощения углеводов, с щелочным раствором пирогаллола для поглощения кислорода и с аммиачным раствором полухлористой меди для поглощения окиси углерода.

Водород определялся сожжением над окисью меди при $250-270^\circ$ по способу Jäger'a. Остаточный газ принимался за азот.

Кроме газов, непосредственно собранных из фумарол, исследованы возгоны, оседавшие на поверхности вулканических пород вблизи фумарол. Ниже приводятся анализы газов и возгонов в отдельности по каждому кратеру (содержание воды всюду дано в миллиграммах на 1 л газа; содержание газов выражено в объемных процентах и приведено к нормальным условиям).

Таблица 1

Вулкан Туйла

№№ по по- рядку	Дата взятия		№№ фу- маро- л	Температ. фумарол	Содержание отдельных компонентов в газовой смеси						
	пробы				H ₂ O	HCl	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	N ₂ и др.
	1935 г.										
1	16	XI . .	1	145°	—	—	—	18.60	—	—	81.40
2	16	XI . .	2	75	25.0	—	—	19.20	—	0.75	80.05
3	16	XI . .	3	190	14.0	0.74	—	19.87	—	0.75	79.31
4	18	XI . .	4	325	21.5	0.61	0.29	19.36	2.28	0.93	76.53
5	18	XI . .	5	370	—	—	—	23.98	—	—	76.02
	1936 г.										
6	28	II . .	17	—	11.4	0.18	—	20.89	0.19	0.04	78.70
7	27	II . .	18	—	21.0	0.046	—	20.19	0.52	0.39	78.85
8	28	II . .	19	—	20.0	0.13	—	20.87	—	0.39	78.61
9	23	III . .	17	330	16.0	0.084	—	20.15	0.15	0.44	79.18
10	23	III . .	18	240	20.0	0.092	—	19.45	0.37	0.67	79.42
11	23	III . .	19	500	14.0	0.123	—	20.44	—	0.60	78.84
12	18	IV . .	17	390	24.0	0.134	—	20.69	0.20	0.15	78.83
13	18	IV . .	18	332	20.0	0.087	—	19.75	0.32	0.37	79.47
14	18	IV . .	19	470	17.0	0.026	—	20.53	—	0.35	79.09
15	11	IV . .	17	420	20.0	0.010	—	20.40	0.25	0.12	79.22
16	11	IV . .	18	335	21.0	0.007	—	20.01	0.34	0.62	79.02
17	11	IV . .	19	500	12.0	0.025	—	20.10	—	0.50	79.37
18	12	VIII .	17	375	—	0.006	—	20.31	0.22	0.10	79.36
19	12	VIII . .	18	205	—	0.009	—	19.91	0.32	0.38	79.38
20	12	VIII . .	19	425	—	0.009	—	19.38	—	0.42	80.19
21	17	VIII .	18	330	11.0	0.003	—	20.25	0.34	0.44	78.97

Возгоны, собранные у перечисленных в табл. 1 фумарол, представляют собой по данным анализа хлориды аммония, натрия, железа, алюминия и др. Другие фумаролы вулкана Туйлы содержат, повидимому, в газообразных выделениях HF, CO₂, SO₃, SO₂, H₂S и другие газы, так как в сублиматах этих фумарол найдены CuCl₂·2H₂O, Na₂SiF₆, CaCO₃, CaSO₄ и S.

Суммируя приведенные данные анализов газообразных выделений фумарол, получаем состав газа:

Для Туйлы: H₂O — от 11 до 25 мг в 1 л; HCl — от 0.03 до 0.74%; CO₂ — 0.29%; O₂ — от 18.6 до 23.98%; CO — от 0.15 до 2.28%; H₂ — от 0.1 до 0.93% и N₂ — от 76.02 до 81.40%.

Таблица 2

Вулкан Киргурич

№№ по рядку	Дата взятия пробы	№№ фумарол	Температ. фумарол	Содержание отдельных компонентов в газовой смеси						
				H ₂ O	HCl	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	N ₂ и др.
	1936 г.									
1	11 VIII . .	1	210°	28	0.002	—	19.08	—	2.19	77.02
2	11 VIII . .	2	375	17	0.002	—	19.21	0.07	1.06	79.66
3	18 VIII . .	1	215	23	—	—	19.35	—	1.72	78.93
В возгонах найдены NH ₄ Cl, FeCl ₃ , NaF, CaSO ₄ и S.										

Таблица 3

Вулкан Биокось

№№ по рядку	Дата взятия пробы	№№ фумарол	Температ. фумарол	Содержание отдельных компонентов в газовой смеси						
				H ₂ O	HCl	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	N ₂ и др.
1	1935 г. 18 XI . .	6	400°	16.0	0.70	—	21.66	0.66	—	77.61
2	1936 г. 18 VIII . .	1	135	17.4	—	—	20.01	0.12	0.75	79.12
3	18 VIII . .	2	250	19.0	—	—	19.75	0.60	1.23	78.42
В возгонах, кроме хлоридов аммония, натрия и меди, найден NaF.										

Для Киргурича: H₂O — от 17 до 28 мг на литр; HCl — 0.0021⁰/₀; O₂ — от 19.08 до 19.35⁰/₀; CO — 0.07⁰/₀; H₂ — от 1.72 до 2.19⁰/₀; N₂ — от 77.02 до 79.66⁰/₀.

Для Биокоси: H₂O — от 7.40 до 16 мг; HCl — 0.7⁰/₀; O₂ — от 19.75 до 21.66⁰/₀; CO — от 0.12 до 0.66⁰/₀; H₂ — от 0.75 до 1.23⁰/₀; N₂ — от 77.61 до 79.12⁰/₀.

В возгонах найдены: NH₄Cl, NaCl, FeCl₃, NaF, Na₂SiF₆, CuCl₂·2H₂O, CaCO₃, CaSO₄, AlCl₃, MgCl₂, S.

Сравнивая данные процентного содержания газов в фумаролах отдельных вулканов, можно видеть, что фумаролы вулкана Туйла наиболее интенсивно выделяют хлоритовый водород сравнительно с двумя

остальными вулканами, и в свою очередь на Киргуриче и Биокоси наблюдается более повышенное содержание водорода и меньше кислорода и окиси углерода, чем в газах фумарол Туйлы. Что касается температуры фумарол, то таковая в общем несколько ниже у фумарол Киргурича

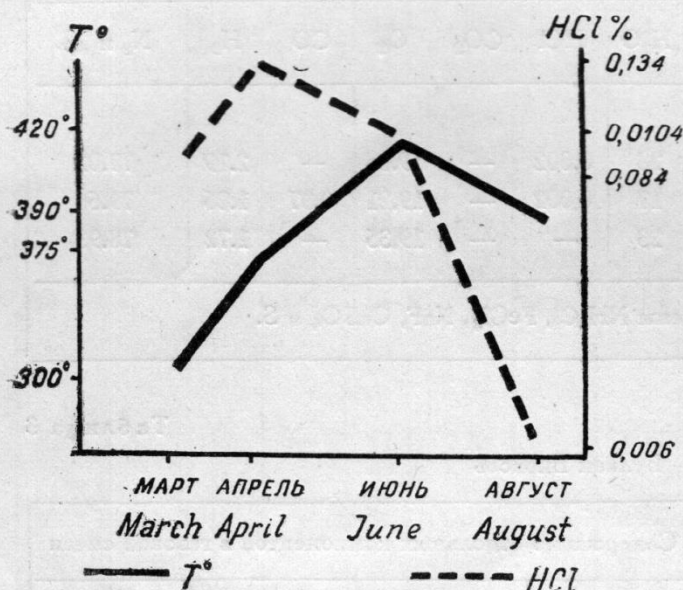
и Биокоси, чем у фумарол Туйлы (см. таблицы анализов).

Выделение HCl , по данным анализов, постепенно убывает со временем; температура же фумарол за период времени, в который производились наблюдения, то убывает, то возрастает. Ниже приведены кривые изменения температуры и выделения HCl в фумаролах №№ 17, 18 и 19 кратера Туйла.

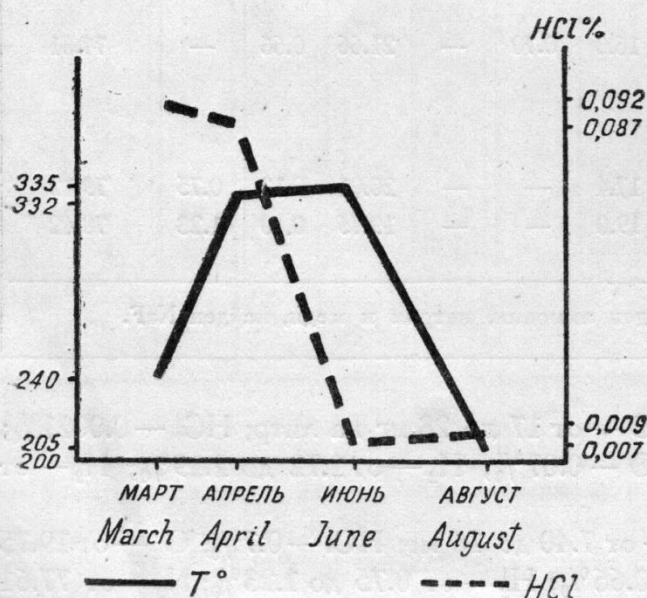
Кривые фиг. 5 показывают, что наиболее высокая температура приходится на июнь, а максимальное выделение HCl наблюдается в апреле при средней температуре 390° .

Кривая температуры фиг. 6 сначала повышается, а затем резко падает, максимум повышения также приходится на июнь. То же имеем и для кривой, показывающей содержание HCl в фумароле, наиболее интенсивное выделение в марте, апреле и резкое падение концентрации HCl в июне и августе.

Таким образом во всех трех фумаролах за время



Фиг. 5.



Фиг. 6.

с марта по август максимальная температура наблюдается в июне, количество же HCl все время убывает. Если сравнивать температуру фумарол и количество выделяющейся HCl , то здесь отчетливой линейной зависимости не наблюдается.

ВУЛКАН КЛЮЧЕВСКАЯ СОПКА

При подъеме 28 августа 1936 г., совместно с геологами В. И. Влодавцем и В. Ф. Попковым, на Ключевской вулкан мною были взяты четыре пробы газа из кратера вулкана в литровые эвакуированные баллоны. Баллоны были упакованы в рюкзак и лежали на краю кратера. При сильном взрыве, вследствие создавшегося движения воздуха, рюкзак покатился вниз и пропал вместе с пробами газа. Качественно в газообразных выделениях Ключевского вулкана обнаружены хлористый водород и сероводород.

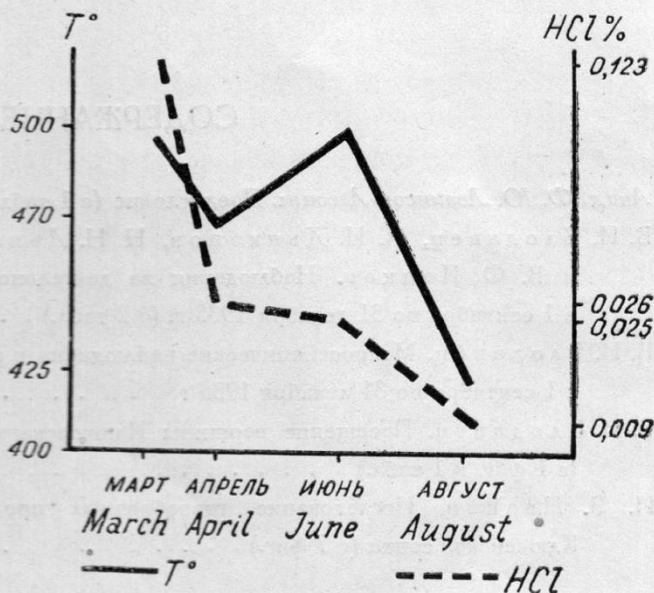
При подъеме 2-й группы 30 августа 1936 г. А. А. Меняйловым были взяты с края кратера вулкана две пробы газа в эвакуированные ампулы на 100 см³.

Анализ газа дал содержание кислорода 21.26%, водорода — 0.45% и азота — 78.29%, других газов найдено не было.

* * *

Подытоживая полученные данные, необходимо прийти к заключению, что в газообразных выделениях исследованных фумарол побочных вулканов, наряду с водяными парами, содержатся преимущественно соляная кислота и хлористый аммоний, другие газы и пары находятся в подчиненном положении. Необходимо также констатировать наличие в фумаролах значительного количества воздуха.

Химическая лаборатория
Вулканологической станции
Академии Наук СССР
с. Ключи на Камчатке



Фиг. 7.